

模糊集 决策和专家系统

〔西德〕H-J. Zimmermann 著

张广全

刘贵廷译

河北教育出版社

懷特集

決策和專家系統



模糊集，决策和专家系统

〔西德〕H-J, Zimmermann 著

张广全 刘贵廷 译

河北教育出版社

冀新登字 006 号

模糊集，决策和专家系统

〔西德〕 H-J, Zimmermann 著

张广全 刘贵廷 译

河北教育出版社出版（石家庄市城乡街44号）

河北新华印刷一厂印刷 河北省新华书店发行

850×1168 毫米 1/32 11.5 印张 285,000 字 1992 年 8 月第 1 版
1992 年 8 月第 1 次印刷 印数：1—300 定价：4.35 元

ISBN 7-5434-1263-2/O·28

译者的话

《模糊集、决策与专家系统》一书系 Hans J. Zimmermann 教授在模糊数学方面的权威著作，有极高的理论水平和实用价值，于 1986 年在美国波士顿出版。

H. J. Zimmermann 是国际模糊数学与系统科学方面的著名学者，是国际模糊系统学会主办的《Fuzzy Sets and Systems》国际杂志的主编。他的论文和著作甚多，在世界范围内广泛传播并有较大影响，其中有代表性的论文和著作有：“具有多目标函数的模糊规划和线性规划”、“模糊数学规划”、“模糊集理论对数学规划的应用”、“模糊集与决策分析”以及“模糊集理论及其应用”等。

《模糊集、决策与专家系统》一书详细论述了模糊决策逻辑与模糊决策的基本原理，阐明了模糊环境下单人决策、多人决策和多目标决策的方法，讨论了模糊集在专家系统中的应用以及决策支持系统中有关模糊决策的问题。全书内容丰富、体系新颖，阐述深刻，并收集了大量有较高价值的实际资料，理论与实践并重，数学与管理结合，是一本难得的高质量的专业书籍。

根据我国模糊数学理论研究和应用的需要，同时考虑到专家系统领域的发展状况，我们翻译了 Zimmermann 教授的这本著作。本译著可以供广大模糊数学理论研究和应用研究工作者使用，也可以作为系统工程、信息控制、管理决策等专业的教科书以及教师和研究生的科学参考书。

本书的翻译工作在王震源教授的指导下完成。其中第一、五、六、七章由张广全同志翻译，前言、第二、三、四章由刘贵廷同

志翻译。姜青山、张国立、朱勇珍三位同志分别审校了前言和第一、二章、第四、五、六章、第三、七章。王震源教授审阅了部分译稿。本译著的翻译工作曾得到许多同志的关心、帮助和支持，我们在此一并表示感谢。

本译著在翻译和出版过程中对原文作了个别修改。

由于整部著作内容涉及面广，加上我们水平有限，翻译经验少，校对时间仓促，难免有不妥和错误之处，恳请读者批评指正。

译 者

1988年10月

前 言

自 L. Zadeh 开始以来, 在这 20 年里, 模糊集理论已经成为处理不适宜于用概率论和二值逻辑的经典方法分析复杂现象的一个范围广泛的概念、模型和技术体系。然而, 不可知论者常常提出的一个问题是: 实际上是否存在这样的有效问题领域, 它用模糊集理论导出的结果不能通过经典方法得到?

在这一领域的近 5000 种出版物对这一问题作了肯定的回答, 它们散于许多方面, 如人工智能、计算机科学、控制工程、决策、逻辑、运筹学、模式识别、自动化和其它。尽管出版物很多, 但能促进初学者进入这一领域并辅助教学的综合性好的教材直到最近还未出现。

为了填补这一空白, 并为模糊集理论这一课程提供一本也能用作这一领域的入门书的课本, 在 1985 年出版了本书的第一卷 [Zimmermann 1985 b]。这一卷试图包括模糊集理论和它的尽可能广泛的应用, 因此对其应用只能是有限程度上的描述而不是非常详细的。

第二卷着重于后 15 年间非常成功地应用模糊集理论方面。在本书的上下文中, 有必要先回到 Bellman 和 Zadeh 在 1970 关于在这一领域引起大量工作的决策分析中模糊集的作用的原始陈述:

在现实世界中, 许多决策在目标、约束和可能行为的结果不明确的环境下发生。为了定量地研究不精确性, 我们通常使用概率论的概念和方法, 尤其是使用由决策理论、控制论

和信息论提供的工具。这样做时，我们默认前提：不精确性——不论它的性质如何——能与随机性等同。在我们看来，这是一个可疑的假设。特别是，我们的论点是有必要区别随机性和模糊性，模糊性是在许多决策过程中不精确性的主要原因。关于模糊性，我们指的是与模糊集有关的一种不精确性，即从隶属到不隶属没有明显转变的种类。例如，绿色物体的种类是一个模糊集。使用常用的形容词如大、小、有意义的、重要的、严重的、简单的、精确的、近似的等刻画的物体种类也是模糊集。实际上，在数学上类或集的概念与现实世界中的大部分分类是存在明显的差别的，在现实世界中的大部分分类是哪些物体属于某一类和不属于某一类的划分没有分明的界限。在这一点上，应该注意，在人们的谈话中，模糊陈述如“约翰比吉姆高几英尺”，“ x 比 y 大”，“公司 x 有一个美好的未来”，“股票市场经历了一场急剧的衰退”，传递了信息，尽管黑体字有其不精确性……[Bellman, Zadeh. 1970, B141]

或许值得注意的是——模糊集理论从来不是模糊思想的召唤——是一个非常准确的描述。这值得强调的是在某种意义上概率论自身是错误的——它仅给出了不恰当表示的不确定性的存在形式。

，所有正确决策辅助物的基础是一个好的标准和描述决策，因此本书的前三章集中讨论在分明和模糊环境下单人和多人决策理论。第四和五章集中讨论特定决策情形：数学规划，作为在约束和多标准分析下研究最优决策的工具，也作为最接近最迅速成长区域的决策分析。

最后一章集中于实际决策，即旨在在实际中改进决策的决策模型的电子数据处理仪。这些系统中的两种：数据库决策支持系统和知识库专家系统是特别恰当的。

决策支持系统包含问题情形的一个内在结构。我们这样使用数学规划结构作为描述决策支持系统的框架。

专家系统在大约20年前就接近形成人工智能。可是，直到最近十年开始才发现它们的潜力。在一定程度上这是由于在那时之前计算机技术没有充分地提供价廉物美的硬件。

当决策情形没被充分构造时，使用决策支持系统，专家系统是特别有用和必需的。由于旨在需要专家的知识的问题结构情形下找至少可接受的解，他们需要特殊工具来建模和处理各种不确定性。显然，模糊集理论特别适合这一论题。第七章提供了许多方法改进现有的和将来的专家系统的建模质量。

虽然本卷是第一卷的延续，但在下列意义下它是独立的：第一章包括决策和模糊集理论的介绍。更高级的概念，就本书需要的来说，在后一章使用以前总是被严格地定义和解释。第六章提供足够的关于经验主义的探究的背景材料使读者能够认识到选择特定模型的理由。我们希望这本书不仅对教学效果有用，而且它也可用作为在广义上改进决策而想要利用模糊集理论的科学工作者和实际工作者在制定决策时的手册。

我感谢在亚琛的所有我的学生的帮助和鼓励，他们帮助补充完善成为这本书。特别我要感谢B. Werners博士，他帮助改进了手稿，为本书补充完善了例题，并总是乐于与我讨论问题并找出答案。

Grefen女士不无耐心地打印手稿几遍，并使我能够按时完成。

我特别感激Kluwer科学出版公司的杰出合作和对这本书的认真准备。在许多方面，在我准备本书期间，他们所提供的杰出服务保证了这本书的成功出版。

H. -J. Zimmermann

1986年11月于亚琛

目 录

前言	(1)
第一章 引言	(1)
I 决策逻辑、行为决策理论和决策技术	(1)
II 优化、等级比、评价	(9)
III 模糊集理论基础	(11)
第二章 模糊环境下的单人决策	(16)
I 对称模型	(16)
II 非对称模型	(24)
III 模糊效用	(31)
第三章 模糊环境下的多人决策	(47)
I 基本模型	(47)
II 模糊对策	(48)
III 模糊队论	(55)
IV 模糊群决策	(60)
第四章 模糊数学规划	(74)
I 模糊线性和非线性规划	(75)
II 模糊多阶段规划	(114)
第五章 病结构情况下的多准则决策	(132)
I 模糊多准则规划	(133)
II 多属性决策	(142)
III 模糊等级比	(184)
第六章 决策模型中的算子和隶属函数	(202)
I 公理化的、实际的和经验的证明	(202)

II	隶属函数的度量.....	(207)
III	在决策模型中选择的适当算子.....	(223)
第七章	决策支持系统.....	(247)
I	知识库系统与数据库系统.....	(247)
II	语言变量、模糊逻辑、近似推理.....	(249)
III	一种关于模糊和半模糊的多目标问题交互式 决策支持系统.....	(260)
IV	专家系统和模糊集.....	(272)

第一章 引言

I. 决策逻辑、行为决策理论和决策技术

决策 这个词在许多学科中都被使用，并且具有许多不同的含义。为了准确叙述这本书的内容，首先应该清楚地解释“决策”、“决策模型”、“决策理论”、“决策技术”或“决策分析”是什么含义。

在考虑“决策”一词的各种使用以前，应先弄清楚一些基本概念。

在我们生活中的各个不同领域，为了某些目的而使用的术语模型、理论和规则具有的不同含义。因此，在详细说明它们必须满足的要求和能够用于某种用途以前，我们有必要更准确地定义我们用模型、理论和规则所表达的内容，描述它们的相互关系，指出它们的用法。为了推进我们的工作，我们应该把在科学领域中给定和使用的定义与更多的面向应用的领域中出现的定义及解释相区别，对后者我们将与“科学规定”相对照而称之为“技术”。所谓“技术”我们是指这些领域，如运筹学、决策分析和信息处理，尽管有时这些领域自称为理论（即决策理论）或自称为科学（即计算机科学、管理科学等等）。这决不是一个涵义陈述。我们仅仅想指出这些领域的主要目的是不同的。科学规定的主要目的是产生知识和更接近于没作任何涵义陈述的真理，技术则通常试图产生更好地解决问题的工具，而这些工具经常是按所给的涵义模式接受或建立起来的。我们首先着手于科学探究领域并考虑下面涉及到术语模型的定义的引句“在一个理论T的所有有

效的命题中的一种可能的实现如果被满足,则叫做一个T的模型。
[Tarski 1953].

Harré [Harré 1967, P.86] 说过“事情 A 的一个模型 a, 是在 A 的许多可能的拷贝或模拟方法中的一个。”几年后又说:“在某些形式科学中,如逻辑和数学,一个模型或一种理论是一组命题,它们能按照某些匹配规则使所表达的理论 and 这组命题相匹配。……‘模型’的另外一个含义是那样一些实际的或想象的事情或过程,它们可表现一些相类似的其它事情或过程,或用一些其它的比用它的行为更类似于它的方法。[Harré 1972, p.173]”他看到在科学领域模型的两个主要目的:(i) 逻辑化——使能够实现某些推论,否则对于产生推论将是不可能的;(ii) 认识论——以表达和使我们扩充我们对这个世界的知识。按照 Harré 所说的模型或是被用于作为启发式设计以简化某种现象和使它容易控制或是用于解释性设计,即一个模型是一个实际的一般结构的模型。

现在这两点已成为显然的:

1. 模型的类型很多,各种模型可以按照一些标准来分类。

为了慎重思考起见,一种分类似乎是特别重要的:把一个模型解释为一个“形式模型”和解释为一个“真实的、描述性的模型”。这个分类符合 Rudolph Carnap 的关于演算的逻辑解释与演算的描述性解释之间的区别的论述 [Carnap 1946]。他认为,如果一个模型存在逻辑上的正确解释,那么在演算中当一个命题包含另一个命题时,其在解释中,每当第一个命题为正确时,则第二个命题也是对的,而且在演算中每当一个命题是可以驳倒时,它在这个模型中也是错的。一种解释如果不是逻辑的解释那就是事实的解释,事实的解释的含义是,无论模型是对的还是错的,它都不仅仅依赖于它的逻辑解释。它的另一个含义是无论模型是对的还是错的,它都

不仅仅依赖于它的逻辑一致性；而是对于假设模型是一个映象这样一种事实系统的性质，它还依赖于命题（模型原理）的（经验主义的）关系。

2. 模型和理论有一定的关系，而且这种关系由于科学家和科学规律的不同而不同。

因为对于我们的头脑，理论是所有科学活动的焦点。现在我们将试着详细说明上述关系。正如 Harré [Harré 1972, P.174] 所指出的“理论只是某个模型的描述与宣传”。

后来，White 明确地指出：“对于将模型和理论加以逻辑上的区分是必要的，它们在决策分析中起着支撑作用、即需要某些理论以便能够考查模型的面貌，也需要某些模型以便能够检查变更的影响。在模型的有效性方面特别需要理论” [White 1975, p. 67]。因此，模型与理论之间似乎有一个非常密切的关系，很可能对于变化程度来说是建立在假设的基础上，而且这些假设或者是形式公理或者是科学定律。这些科学定律似乎可以区分在科学规定中的模型和理论与在更广泛的应用领域中的模型（有时叫理论）：“一个实验定律，不像一个理论上的陈述，它只能不变的保持一个确定的经验主义的满足原则上总能由那些程序获得的观察证据来控制 [Nagel 1969, P.83]。

这些实验（科学的）定律断言关于时间和空间不变性。对一个假设的检验必须放在它能够断言一个定律依赖于科学家的哲学上的倾向以前。或许是最突出的“批判理性主义”的代表，Karl Popper 相信定律仅是通过他们的伪造才智的事实进行试验的。Popper 进一步认为，一个假设被“证实”（与其说证实了的）上述的实验的严重程度。这样一个证实的假设对于这种远没有被消除的实验可以说成是已经成立。但是实验没有证实它的正确性。因此，一个科学中的好的假设是一个有助于它自己进行严格检验

的假设，即是一个产生最大范围的伪造结果的假设 [Popper 1959]。

现在让我们试着讨论与其说是“科学”不如说是“技术”的领域。如前我们所提到的，这种技术的主要目的与其说是产生新知识和更接近真理，不如说是为了更好地解决问题的结构化的工具。

那么，什么是运筹学中的模型呢？大多数作者直接使用术语模型，它们假定读者知道模型是什么和它代表什么。例如，Arrow，当他说“如此这个通过双方对照建立起来的似乎不太适合描述比赛情况下，推理行为的情况” [Arrow 1951, p.2]时，他使用术语模型作为一个理论的特定部分。他大概认为推理选择模型是起源，因为他心里已有理论，所以没有给出一个非常充分的、概念化的描写，而是仅提出一个非常简化的模式。在社会科学、行为科学以及在技术方面，用相当概括的和一般化的术语和模型同时建立的一定的理论是非常普通的，有时为了检验理论而需要对一些模型进行实验，这些模型的说明必须比他们自己的理论更详细。”他们对结构化一个定量理论比对结构化一个模型更感兴趣以符合原始理论的直观概念，在逻辑语言中这样说将是更合适的” [suppes 1961, p.169]。

如果我们考虑一个应用在运筹学中的模型，其规模为包括10000多个变量和上千个约束，我们很容易看到，是什么原因使我们不能从一个模型确定出一个理论：不是其复杂性，不是其巨大性，也不是语言，甚至不是原本的目的。事实上，这似乎就仅仅是一个理论和模型之间的逐渐的区别。当一个理论正式表示一个完整的领域时，这个理论（例如，决策论、库存论、排队论等等）比一个模型更加综合但很少详细说明，一个模型则更经常地涉及到详细的前后关系或情况，而且意味着是对一个问题、一个系统或一个过程的描述。科学理论，以科学规律作为假设，与此相反，

一个模型通常不能断言具有时间和空间的不变性，但是每当特有的前后关系为了构造一个模型而改变时，则需要加以限制。

下面我们将不区分模型与理论。然而有必要提到一种可能的按照模型的特征进行的分类。科学理论总是被分成形式理论和实际理论。对于模型，特别在我们考虑的有价值的和偏爱的技术领域，我们将分成下列几类：

1. **形式模型** 形式模型是纯公理系统，从这个系统我们能导出假如一命题，当然它们的假设是纯虚构的。这些模型仅仅能够核准其连贯性，但既不能用试验论证来证实它们也不能否定它们。
2. **实际模型** 实际模型在它们的原始假设中可能包含关于客观系统的错误假设。从这些模型中获得的结论与实际有关，而且它们或它们的原始假设能够由实验数据加以证实或否定。
3. **惯例模型** 惯例模型要求规则随着必须执行的过程或者人们必须遵循的内容不同而不同。这种类型的模型在科学中是找不到的，但是在实践中确是模型的一种常见的类型。

在使用模型时，分清上述三类模型是特别重要的：这三类模型可以完全看成同样的，但是它们输出的“值”是完全不同的。因此，如不认清我们正在使用的是哪一类模型将是相当危险的，因为我们可能将一个形式模型作为一个实际模型来用，或者将惯例模型看成一个实际模型，对于由此结果得到的决策将可能产生相当严重后果。

作为一个例子，让我们考虑 Ackoff 进行的决策模型，这个模型被称为六步过程[Ackoff 1962]。它提供了一个实际决策制定过程的很好的写照（模型）。它是形式的模型、实际的模型、还是惯例模型呢？如果它是一个形式模型，我们不能由它导出一个

实际决策的任何结论。如果它是一个实际模型，在我们将它作为实际决策过程的写照以前，它必须得到实践的证实或否定。不管怎样，在1966年[Witte 1968]这种按步骤进行决策的论点被经验式地否定了。但是直到现在，一些作者仍坚持这类模型。他们是想要说明他们的模型是一个惯例模型吗？如果他们能够证明，例如，当按步骤制定决策时，所制定的决策将会更有效地执行，这也仅仅证明了他们所作的是正当的而已。但这一点并没有被经验式地证明。因此，我们仅仅能够确定，这些作者提出的作为一个决策模型的综合模式吸收了他们的作为一个形式模型的意见，并不能制定任何关于实际的说明或者确定他们正在使用一个错误的（即谬误的和病态的）实际模型。

现在让我们转向决策科学和分析的领域。我们能够找到上面提到的三类模型和理论：形式理论、实际理论和技术。他们相互间通过它们的观点和目的、通过需要的实际情况的种类、以及关于他们的“决策”的定义加以区分。决策理论的形式描述是“惯用决策理论”，通常叫做“规范的决策理论”，“决策逻辑”、“统计决策理论”或者类似的。这个领域，通常包括实用的理论，构成一种形式科学，并且认为决策是一个合理选择的行为。决策理论的这个描述对封闭性的模型行得通——即它假定所有有关的信息都已给定（给定……寻找最佳的行为！），因此，不包括信息的收集、控制或选择后的完成步骤。它不依赖于前后关系——即不考虑决策者个人所具有的能力和缺点，也不考虑在一个必须被制定的决策中的前后关系。惯例（规范的）决策理论能够定义如下：

定义 1.1

给定可行活动集 A ，有关状态集 S ，结果事件集 E ，和一个（有理的）效用函数 u ——指定关于他们的可描述性的事件空间——在一定的情况下的最佳决策就是导致最高效用事件活动的选择，这样的—一个决策能够用四重组 $\{A, S, E, u\}$ 予以恰当的